

윤활기유가 자동변속기유의 성능에 미치는 영향

문우식 · 양시원

SK 주식회사 대덕기술원

Effects of Base Oils on Performance of Automatic Transmission Fluid

Woo Sik Moon, Si Won Yang

Daeduk Institute of Technology, SK Corporation

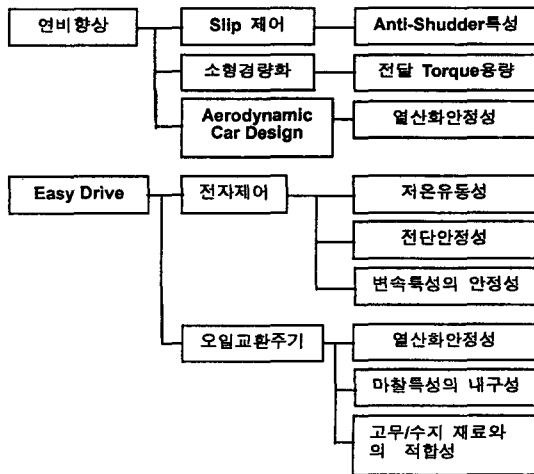
Abstract – Until recently performance requirements for automatic transmission fluids have continued to change to reflect the design changes of automatic transmission. The major purpose for these design changes is to improve the fuel economy and easy driving. To meet recent performance requirements for automatic transmission the needs for special base oils like API Group III and IV base oils become larger. In this paper to evaluate the effects of base oils on performance of automatic transmission fluids formulated with API Group I, II, III and IV and Dexron III and Mercon Type additive package, Brookfield viscosity, oxidation test, SAE No.2 friction test and seal compatibility test were examined. From the test we knew that the use of Group III and IV base oils in ATF has several benefits in low temperature viscosity, oxidation stability and SAE No.2 friction characteristics.

Key Words –API group III base oil, Brookfield viscosity, ABOT, SAE No.2 friction characteristics, seal compatibility

1. 서론

1937년 GM이 Oldsmobile에 Hydra-Matic이라 칭하는 자동변속기를 탑재한 이래, 최근 일본 및 구미 자동차회사를 중심으로 채택되기 시작하고 있는 CSTCC(Continuously Slipping Torque Converter Clutch) 및 CVT에 이르기까지 자동변속기는 연비향상과 운전자의 편의(Easy Drive)라는 큰 목표하에 눈부신 발전을 거듭해 왔다. 이러한 발전 과정에서 여기에 사용되는 윤활유인 자동변속기유도 각 자동차사의 규격을 살펴보면 알 수 있듯이 여러 단계의 변화를 거치면서 성능을 향상시켜 왔다.

Table 1. 최근 자동변속기유에 요구되는 특성



최근 자동변속기유에 요구되는 특성을 Table 1에 나타내었다.

이러한 특성에 대해 국내외 각 자동차 회사들은 고유의 시험방법과 규격을 설정하고 있으며 그 규격들은 보다 엄격하고 까다로워지고 있어, 근래 자동차 회사들의 요구 규격을 만족하기 위해서는 미국석유회회(API)에서 분류하고 있는 Group III와 IV에 해당하는 윤활기유의 필요성이 더욱 높아지고 있다.

본 연구에서는 API에서 분류하고 있는 Group I, II, IV에 해당하는 윤활기유를 각각 선정하여 이들 윤활기유가 자동변속기유의 성능에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하고자 저온특성, 산화안정성, 고무재료와의 상용성, 마찰특성 실험을 실시하였고, 이 과정에서 몇 가지 결론을 얻을 수 있었다.

2. 윤활유 및 실험

2.1 윤활유

Table 2에 미국석유회회에서 윤활기유를 분류하고 있는 기준에 따라 선정한 윤활기유와 그의 성상을 나타내었다

선정한 윤활기유는 모두 자동변속기유를 제조하는데 있어 주종이 되는 윤활기유들로 100℃에서의 점도가 4 cSt 정도에 해당하며, 이 중 BO1, BO2와 BO3은 광유계 윤활기유로 각각 용제추출공정(Solvent Extraction), 수침개질 공정(Hydrotreating), 수침분해 공정(Hydrocracking)을 통해 생산된 기유이며, BO4는 비광유계인 PAO이다.

Table 2. 실험대상 기유의 성상

API Base Oil Group	I	II	III	IV
Properties	BO-1	BO-2	BO-3	BO-4
Specific Gravity	0.864	0.855	0.834	0.819
Kinematic Viscosity @-20℃, cSt				
@ 40℃, cSt	20.08	20.20	19.57	17.10
@100℃, cSt	4.13	4.15	4.23	3.86
Viscosity Index	106	107	122	127
Flash Point, ℃	220	214	218	224
Pour Point, ℃	-10	-10	-15	-57
Sulfur, wt%	0.58	0.03	0.00	0.00
Aro.,vol%(HPLC)	27.7	3.5	0.6	0.0
Aniline Point, ℃	100	105	113	115

첨가제로는 GM사의 Dexron III와 Ford사의 Mercon 성능 규격을 만족하는 자동변속기유 첨가제 조성물로 여기에는 산화방지제, 내마모제, 청정분산제, 방청제, 소포제, 마찰조정제, 점도지수 향상제 등이 포함되어 있다. 이 첨가제를 실험 대상 윤활기유인 BO-1, BO-2, BO-3 그리고 BO-4에 첨가하여 자동변속기유를 제조하였고 각각 ATF-1, ATF-2, ATF-3 그리고 ATF-4로 구분하였다.

2.2 윤활유의 물성 및 저온성능

먼저 ATF-1, 2, 3, 4의 물성 차이를 파악하였으며, 저온 성능을 파악하기 위해서는 자동변속기유의 저온 규격으로 많이 적용되고 있는 브룩필드 점도(Brookfield Viscosity)와 1시간에 10씩 온도를 떨어 뜨려 저온 점도를 측정하는 스캐닝 브룩필드 점도계(Scanning Brookfield Viscometer)를 사용하여 윤활기유에 따른 저온 성능을 평가하였다.

2.3 산화안정성

모든 윤활유가 그렇지만 자동변속기유에서도 산화안정성이 제반 성능에 미치는 영향은 매우 커서 D.Borden은 그의 논문에서 자동변속기에서 발생하는 문제의 약 70%이상이 자동변속기유의 산화에 기인한다고 하였다

자동변속기유가 산화가 되기 시작하면, 자동변속기 내부에 슬러지(Sludge)나 바니쉬(Varnish)가 쌓이게 되어 유압회로를 막게 되며, 생성된 산성물질은 각종 부품의 부식을 야기하게 되고, 고무재료를 경화시켜 자동변속기가 제 기능을 못하게 만든다.

이러한 중요성으로 인해 각 자동차사도 자사 자동변속기유 규격에 산화안정성과 관련한 여러 규격을 포함시키고 있다.

산화안정성과 관련하여 Dexron과 Mercon에는 각각 4L60E Oxidation Test와 ABOT(Aluminum Beaker Oxidation Test)를 규격에 포함시켜 자동변속기유의 산화안정성을 평가하고 있는데 본 실험에서는 4L60E 대비 실험이 비교적 간단하면서도 실기와 상관관계가 높다고 알려져 있는 ABOT와 유사하도록 Table 3과 같이 실험조건을 설정하

였고 72시간 간격으로 시료를 채취하여 실험 대상유의 산화안정성을 평가하였다.

Table 3. 산화시험조건

항목	실험조건	ABOT
온도, ℃	155	155
촉매	Cu/Fe Wire	Aluminum Beaker Cu/Al Strip
Air, L/Hr	10	0.3
유량, ml	400	250
시간, Hr	432	300

2.4 고무재료와의 상용성

자동변속기유가 갖는 기능 중의 하나가 유압유 기능으로서 최근 TCU(Transmission Control Unit)가 운전자의 운전습관이나 차량속도, 도로조건 등을 파악하여 변속을 결정하는 전자제어 시스템의 장악이 늘어가고 있으며, 전체적으로 자동변속기의 설계가 자동변속기유의 온도를 상승하게 만들고 있고, 오일 교환주기의 연장이 요구됨에 따라, 자동변속기유가 유압회로 내에서 TCU의 결정을 원활하게 수행하기 위해서는 변속기내의 각종 고무 및 재료와의 상용성이 매우 중요한 특성으로 강조되고 있다.

본 연구에서는 고무와의 상용성 평가 항목 중의 하나인 체적변화에 대해 윤활기유가 미치는 영향을 파악하기 위해 Dexron III 규격시험에서 사용되는 재료 6종에 대해 Dexron III 규격을 만족하는 자동변속기유(REO)와 함께 Dexron III 시험조건인 150ℓ, 70시간으로 실험 재료를 자동변속기유에 침적한 후 체적변화를 측정하였다.

2.5 마찰특성

자동변속기유를 다른 윤활유와 다르게 만드는 특성 중의 하나가 각종 마찰재와의 마찰특성으로 자동변속기내에는 록업클러치(Lock-Up Clutch), 다판 변속 클러치(Plate Clutch), 밴드 클러치(Band Clutch) 등에서 습식마찰이 발생하며, 이 클러치에서 발생하는 마찰특성과 내구성은 운전자가 비교적 다른 특성 보다 쉽게 감지할 수 있어 자동차사들이 매우 중요하게 여기는 성능 중의 하나이다.

윤활기유가 마찰특성에 미치는 영향을 파악하기 위해 본 실험에서는 Dexron III나 Mercon 규격을 포함하여 자동변속기유의 마찰특성을 평가하는데 널리 알려져 있는 Fig.1의 SAE No.2 마찰특성시험기를 사용하여 평가하였다.

실험조건을 Table 4에 나타내었으며, 국제윤활유 규격 표준화협회(ILSAC, International Lubricant Standardization and Approval Committee)에서 Dexron, Mercon, JASO의 SAE No.2 실험방법에 대한 상호 연관성을 연구하기 위해 사용한 실험조건의 가혹도를 적용하여 본 시험조건의 가혹도

를 계산하였다. ILSAC ATF 소위원회에서 계산한 SAE No.2 실험 가혹도(Severity Index)는 다음과 같다.

Severity Index

$$= \frac{\text{Energy per Cycle} \times (\text{Number of Cycles}) \times (\text{Fluid Temperature})}{\dots}$$

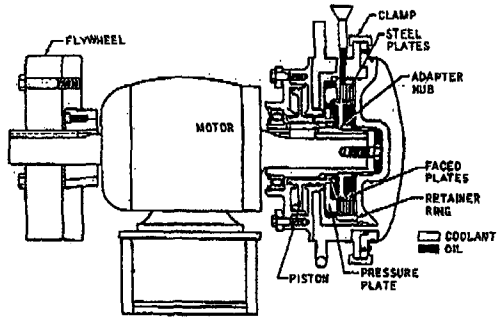


Fig.1. SAE No.2 마찰특성시험기

이 실험으로 Fig.2 와 같은 그래프가 얻어지는데 여기서 μ_s 는 Static Mode 인 마찰재가 결합 (Engagement)된 상태에서 0.7 rpm 으로 회전할 때 발생하는 최대마찰계수 값이며, μ_d 는 Dynamic Mode 인 3,000rpm 으로 축이 회전할 때 압력이 가해지면 결국에는 회전이 멈춰지게 되는데, 이

멈춰지기 직전에 발생하는 토크 값 중 가장 큰 값으로부터 구해지며, μ_d 는 이 과정에서 회전수가 줄어들어 1,500rpm 될 때 측정된 값이다. μ_o/μ_d 는 변속감의 지표로 통상 1.0~0.9 사이가 바람직하며, 이 이상이 되면 변속시 충격이 발생할 가능성이, 이 이하가 되면 토크 용량의 감소로 인한 변속 시간의 연장이 예상된다.

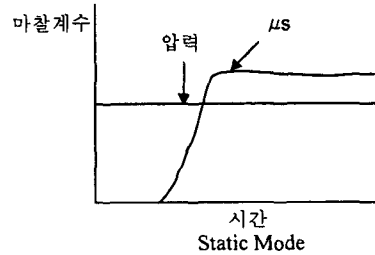
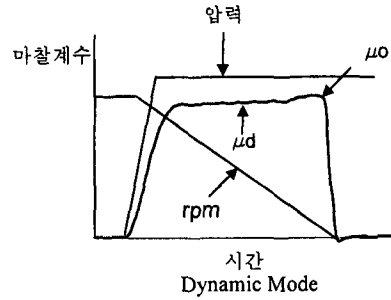


Fig.2. SAE No.2 마찰특성그래프

Table 4. SAE No.2 실험조건

항목	조건 A	조건 B	GM Dexron III	Ford Mercon	JSAO
Friction Material	SD 1777X	←	SD 1777	SD 1777	SD 1777
Friction Material Size(o.d./i.d.), mm	127/104	←	125.4/90.5	133.4/98.8	126.5/105
Plate Arrangement(F= Friction Plate, S= Steel Plate)	S-F-S- S-F-S	←	S-F-S-S-F-S	S-F-S-S-F-S	S-F-S-F-S-F-S
Fluid Volume, L	0.30	←	0.65	0.30	0.60
Fluid Temperature, °C	120	140	140	115	100
Energy, J	16,909	←	15,700	20,740	24,350
Inertia, kgm ²	0.343	←	-	-	0.343
Dynamic Test Speed, rpm	3,000	←	3,600	3,600	3,600
Static(Breakaway) Test Speed, rpm	0.7	←	0.72	4.37	0.72
Apply Pressure, kPa	441	←	345	275	785
Effective Radius, mm	57.9	←	54.0	58.1	57.4
Gross Friction Area, mm ² (per surface)	4,171	←	5,920	6,310	3,910
Total Gross Friction Area, mm ²	16,684	←	23,680	25,240	23,460
Groove Type	Grooved	←	none	grooved	none
Net Friction Area, mm ²	13,228	←	23,680	16,384	23,460
Cycle Length, s	30	←	20	20	30
Test Cycle	10,000	←	18,000	15,000	5,000
Test Duration, h	83.3	←	100	83.3	41.7
Energy per Total Net Friction Area, J/mm ²	1.013	←	0.663	1.266	1.038
Energy per ATF Volume, J/L	56,400	←	24,200	69,100	40,600
Cumulative Energy Absorbed During Complete Test, kJ	169,090	←	282,600	311,100	121,750
Test Severity Index *	5.11	5.97	2.57	7.28	0.86

* 조건 B: 실험유에 Cu, Fe 가 각각 40ppm 이 되도록 유용성 촉매인 Copper Naphthenate 와 Iron Naphthenate 를 투입

통상 자동변속기유에 있어 산화가 진행되면 이러한 과정에서 생기는 산화물질이 신유가 일정한 마찰특성을 갖도록 설계하는데 사용되는 첨가제의 분해를 촉진하고 마찰재 표면에서 첨가제와 경쟁적인 흡착관계를 형성하기도 한다. 또, 슬러지 등은 마찰재의 기공(Porosity)을 메꿔 마찰재의 기능을 저하시켜 동마찰계수인 μ 값을 낮춰 변속감(Shift Feeling)의 지표인 μ/μ 값을 증가 시키고, 변속시간을 증가 시켜 결국에는 자동변속기에 문제를 야기하게 된다.

본 연구에서는 실험조건을 2 가지로 설정하여 조건 A에서는 윤활기유에 따른 신유의 마찰특성차이를 보고자 하였고, 조건 B에서는 140°C로 하고 촉매를 사용하여 조건 A 보다는 가혹한 산화 환경을 조성하여 실기와 같이 자동변속기유가 산화되면서 나타나는 마찰특성의 변화를 실험에 반영하고자 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 윤활유의 물성 및 저온성능

ATF-1, 2, 3, 4의 물성과 저온성능 실험결과를 Table 5와 Fig.2에 나타내었다.

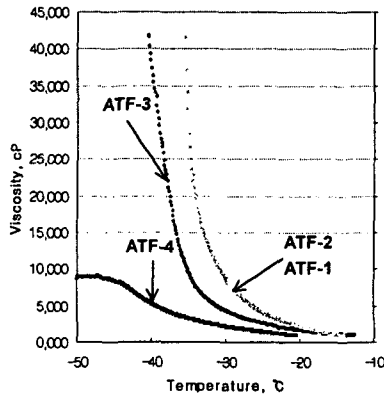


Fig.2. 윤활기유에 의한 Scanning Brookfield 저온 점도 차이

-20, -30, -40°C 브룩필드 점도에서 각각 Group II, I, III, IV 윤활기유를 사용한 ATF-2 > ATF-1 > ATF-3 > ATF-4의 순서로 낮고, 스캐닝 브룩필드로 측

정한 저온점도에서도 ATF-2 = ATF-1 > ATF-3 > ATF-4의 순서로 낮아 ATF-4의 저온성능이 가장 우수한 것으로 나타났다.

ATF-1, 2는 Dexron III와 Mercon에서 요구하는 저온 Brookfield 점도 규격을 만족하지 못하며 ATF-3와 ATF-4는 모두 규격을 훨씬 하회하여 만족하며, 향후 Mercon V 규격에서 요구되는 -40에서 13,000cP 이하나 크라이슬러사의 MS 9602에서 요구하는 10,000cP 이하 규격도 만족하는 결과를 나타내었다.

ATF-1, 2의 경우 각각 BO-1,과 BO-2 보다 점도가 낮은 윤활기유를 적용하고 점도지수향상제의 첨가량을 증가시키거나 점증력(Thickening Power)이 큰 고분자량 점도지수향상제를 적용하면 저온 점도를 낮출 수 있겠지만 이럴 경우 전단안정성의 저하를 가져와 사용 중 점도 감소로 인해 변속기 내 펌프 효율 저하 및 유압회로의 누유(Leakage)발생으로 압력 저하를 일으킬 가능성이 커지게 된다. 그림 3은 William 이 실험한 것으로 전단안정성 차이가 변속시간에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

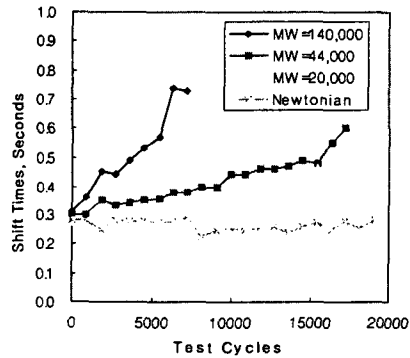


Fig.3. 전단안정성 차이가 GM 4L60 Cycling Test 결과에 미치는 영향

3.2 산화안정성

Table 3에 의해 얻은 실험결과를 Fig.4에 나타내었다. 점도변화에서 288Hr까지는 4개 ATF 모두 신유와 비슷한 점도를 유지하다가 ATF-1,2의 경우 360Hr부터 급격한 점도 증가를 나타내었다.

Table 5. 각 윤활기유로 제조한 자동변속기유 물성 측정 결과

Properties	ATF-1	ATF-2	ATF-3	ATF-4	Dexron III	Mercon
					Specification	Specification
Specific Gravity	0.8649	0.8605	0.8438	0.8309		
Kinematic Viscosity @40°C, cSt	37.65	36.73	33.42	29.41		
@100°C, cSt	7.670	7.647	7.382	6.836		6.8 이상
Viscosity Index	179	184	196	204		
Brookfield Viscosity @-20°C, cP	1420	1570	1070	670	1,500 이하	1,500 이하
@-30°C, cP	5230	6140	2570	1520	5,000 이하	
@-40°C, cP	26500	44250	9360	4150	20,000이하	20,000 이하
Pour Point, °C	-47.5	-45.0	-52.5	< -52.5		
Aniline Point, °C	100.8	106.6	115.0	119.8		
TAN, mgKOH/g	0.78	←	←	←		

전산가 변화에서는 4 개 ATF 모두 시간이 경과하면서 수치가 높아지고 있으나 ATF-1, 2 의 증가율이 높은 것을 알 수 있다

Mercon 사의 ABOT 규격에서는 40℃ 점도 변화를 40%이내, 신유 대비 전산가 증가를 4.0mg KOH/g 이내로 규정하고 있어 이 규격 값을 본 실험에 적용할 경우, ATF-1,2는 300Hr 부근에서 규격을 벗어나며, ATF-3는 약 500Hr 부근에서 규격을 벗어나는 것이 예측되고, ATF-4의 경우 훨씬 긴 수명이 예상된다.

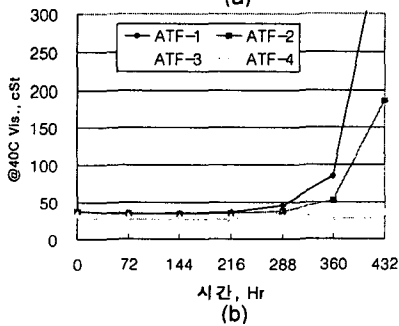
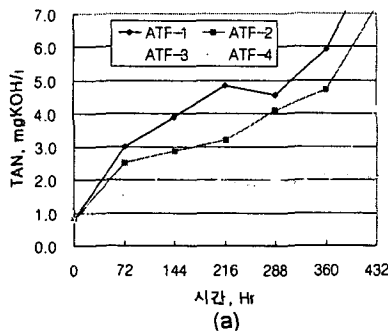


Fig.4. 산화시험 결과 (a)전산가변화 (b)점도변화

3.3 고무재료와의 상응성

Fig.5에 ATF-1, 2, 3, 4의 Dexron III 고무재료와의 체적변화 실험 결과를 나타내었다. 기준유인 REO와 비교시 ATF-2, 3, 4의 경우 DEXRON III 규격을 만족하기 위해서는 배합식의 재설계가 필요하다는 것을 알 수 있다.

통상, Group II, III 윤활기유를 적용할 경우에는 고무팽윤제(Seal Sweller)나 광유계 나프텐 기유(Naphthenic Base Oil)를, Group IV 윤활기유를 사용할 경우에는 에스테르나 나프텐계 합성기유를 조합하고 있다. 그러나 에스테르나 나프텐계 합성기유를 Group IV 윤활기유에 적용할 경우 마찰특성에 미치는 영향이 크다고 알려져 있다

3.4 마찰특성

먼저 조건 A에 의한 실험결과를 Fig.6에 나타내었다. 각 항목 모두 윤활기유에 따른 마찰특성의 차이는 미미하였으나, 저속영역에서 측정되는

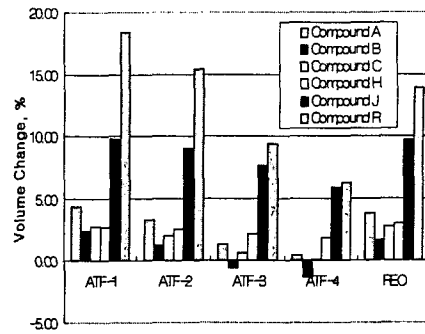


Fig.5. Dexron III 고무상응성 재료에 대한 체적변화율

마찰계수인 μs 값의 초기 Cycle 영역에서 상대적으로 PAO를 적용한 ATF-4와 광유계이지만 Saturate 성분이 많은 윤활기유를 적용한 ATF-3의 마찰계수가 낮은 결과를 나타냈으며, 이러한 경향은 Matsuoka가 저속영역에서의 마찰특성을 평가하는 장비인 LVFA(Low Velocity Friction Apparatus) 실험에서 얻은 결과와 같다. 그러나 이러한 경향은 실험 Cycle이 진행되면서 달라지고 특정한 경향을 보이지 않게 된다. 이는 Cycle 진행되면서 마찰재 표면의 손상 및 첨가제의 소모 등 여러 가지 변수들이 작용하여 실험의 정확성을 떨어뜨렸기 때문으로 해석할 수 있다. 실제로 JSAO에서 실험시간을 5,000 cycle로 한 것은 Cycle이 진행될수록 마찰재 표면에 손상이 발생하여 윤활유의 마찰성능 평가하는데 영향을 줄 수 있다고 판단하였기 때문이다.

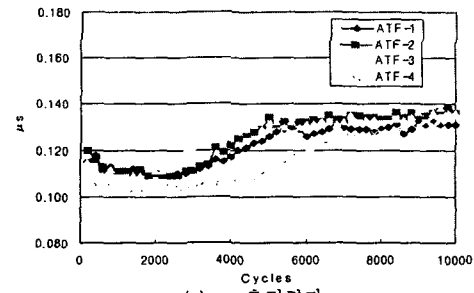
이밖에 ATF-1, 2, 3, 4 모두 Cycle이 경과하면서 μs , μo , $\mu o/\mu d$ 값이 증가하며, μd 값은 감소하고, Stop Time은 길어지는 것에 대해서는 동일한 경향을 보였다.

그러나 비광유계 PAO를 적용한 ATF-4는 상대적으로 μd 값 감소가 적어 Stop Time이 안정되게 유지하고 있음을 알 수 있었다.

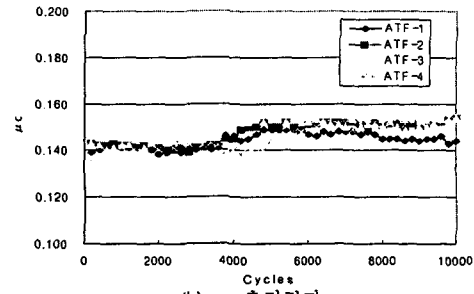
조건 B로 실험한 ATF-1, ATF-3의 실험결과를 각각 ATF-1C, ATF-3C로 표기하여 Fig.7에 나타내었다.

ATF-1, 3과 ATF-1C, 3C를 비교시 μs , μo , 값은 큰 차이가 없었으나 ATF-1C, 3C의 μd 값이 Cycle이 경과하면서 감소하는 경향을 나타냈으며 이로 인해 $\mu o/\mu d$ 값이 증가하고, Stop Time 길어지는 것을 알 수 있으며, 이러한 감소 현상은 ATF-1C에서 보다 심한 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 산화안정성의 차이에 의해 기인한 것으로 판단되는데 Fig.8을 보면 실험 중 측정된 전산가 증가 현상이 ATF-1C에서 크다는 것을 알 수 있다.

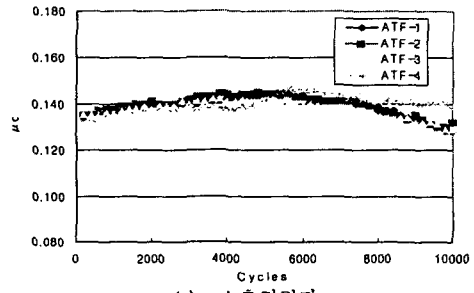
즉, 실험조건 A, B의 SAE No.2 마찰특성 실험 후 사용유에 대한 분석 결과인 Fig.8을 보면, Fig.4의 실험결과와 비교시 본격적인 산화가 진행



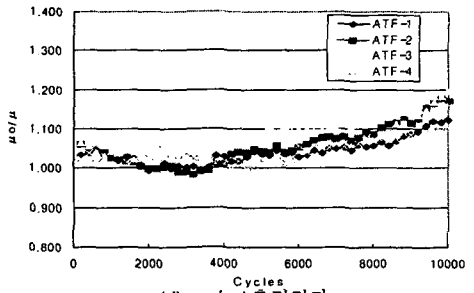
(a) μs 측정결과



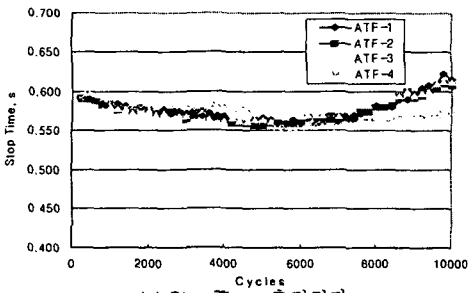
(b) μC 측정결과



(c) μd 측정결과

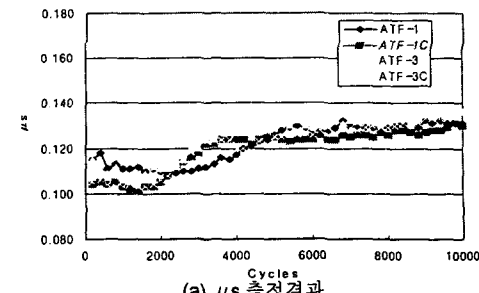


(d) $\mu 0/\mu$ 측정결과

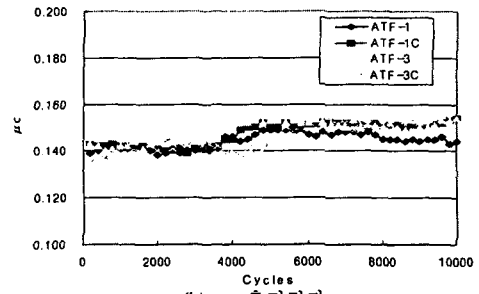


(e) Stop Time 측정결과

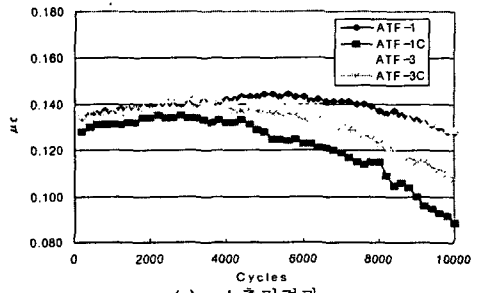
Fig.6. 조건 A 에 의한 SAE 실험결과



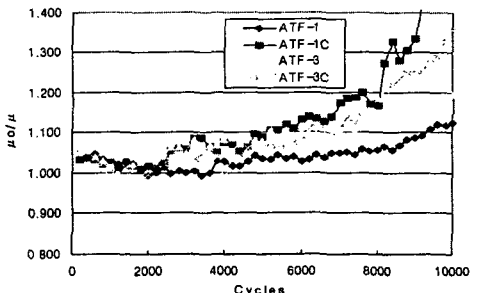
(a) μs 측정결과



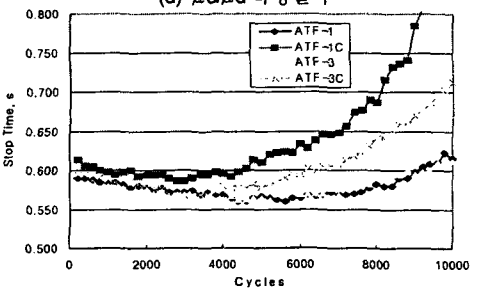
(b) μC 측정결과



(c) μd 측정결과



(d) $\mu 0/\mu$ 측정결과



(e) Stop Time 측정결과

Fig.7. ATF-1 과 3의 조건 A 와 B로 실시한 SAE No.2 실험결과

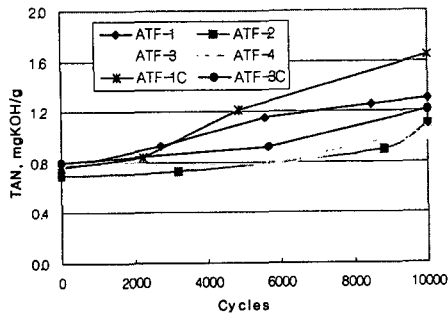


Fig. 8. SAE No.2 마찰특성 실험 후 자동변속기유의 전산가 변화

되지 않은 것으로 생각되며, 따라서 조건 A의 SAE No.2 마찰특성 실험에서는 각 자동변속기유의 산화안정성 차이가 마찰특성에 미치는 영향은 적었던 것으로 판단되나, 조건 B에서는 윤활기유에 의한 산화안정성 차이가 마찰특성 실험결과에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

윤활기유가 자동변속기유에 미치는 영향을 파악하고자 저온물성실험, 산화안정성실험, 고무재료와의 상용성 실험 그리고 마찰특성 실험을 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 윤활기유가 자동변속기유에 미치는 영향은 매우 크다는 것을 알 수 있었다.
- (2) 윤활기유가 갖고 있는 저온 특성 차이는 저온 성능을 향상시켜주는 첨가제가 배합된 자동변속기유에서도 그대로 나타났으며, BO-4, 3, 1, 2의 순서로 우수하였다.
- (3) 산화안정성에서는 BO-4, 3, 2, 1의 순서로 산화안정도가 우수하였다.
- (4) 고무 재료를 이용한 상용성 실험에서는 윤활기유에 따른 체적변화율 차이가 있으며, Dexron III 규격을 만족하기 위해서는 BO-2, 3와 4 윤활기유에 대해서는 배합식의 조정이 필요하다.
- (5) SAE No.2 마찰특성에서는 윤활기유에 따른 마찰특성차이를 확인하기 어려웠지만 일부 속도영역에서는 윤활기유에 의한 마찰특성의 차이가 있으며, 산화환경을 보다 가혹하게 조성할 경우에는 윤활기유의 산화안정도 차이가 마찰특성에 영향을 미친다.

금번 실험을 통해 최근 자동변속기유에 요구되는 특성인 저온특성, 전단안정성, 교환주기 연장, 마찰특성의 안정성 등을 만족하기 위해서는 Group III와 IV와 같은 윤활기유의 사용이 매우 유용하다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. D. Borden, "Field and Laboratory Evaluations of Automatic Transmission Fluids", SAE Paper 660099.
2. P.A. Willermet, "The Prediction of ATF Service Life from Laboratory Oxidation Test Data", SAE Paper 801363
3. James L. Linden, "A Comparison of Methods for Evaluating Automatic Transmission Fluid Effects on Friction Torque Capacity-A Study by the International Lubricants Standardization and Approval Committee (ILSAC) ATF Subcommittee", SAE Paper 982672.
4. C.W. Cornish, "Basestock Requirements of Evolving ATF Specifications", NPRA AM-96-34.
5. William C. Ward, Jr, "OEM Developments - ATF for Better Transmission Durability", NPRA AM-97-41.
6. C.D. Tipton, "Fundamental Studies on ATF Friction I", SAE Paper 971621.
7. Tohru Matsuoka, "윤활기유의 습식 Clutch 마찰 특성", Proceedings of JSAT Tribology Conference 1996.

부록. API 윤활기유 분류와 실험대상 윤활기유

Base Oil Category	Sulfur (%)	Saturates (%)	Viscosity Index
Group I	> 0.03	And/or < 90	80 to 120
Group II	≤ 0.03	and ≥ 90	80 to 120
Group III	≤ 0.03	and ≥ 90	≥ 120
Group IV	All polyalphaolefins (PAOs)		